

Keysight Technologies

Измерение характеристик мощных полевых транзисторов с МОП-структурой до 1500 А и 10 кВ с помощью B1505A

Анализатор мощных устройств/характериограф B1505A

Рекомендации
по применению



Анализатор мощных устройств /
характериограф B1505A

Расширитель для сверх-
больших значений силы тока/
устройство подключения
N1265A и расширитель для
больших значений силы тока
HVSMU N1266A

Расширитель для сверхбольших
значений напряжения N1268A

Введение

Анализатор мощных устройств/характериограф B1505A компании Keysight — мощное средство для измерения характеристик устройств, таких как мощные полевые транзисторы с МОП-структурой. Сочетание широкого диапазона измерений (1500 А и 10 кВ) и расширенных функций обеспечивает эффективное техническое решение для измерения характеристик мощных устройств.

Анализатор B1505A поддерживает несколько внешних модулей, которые значительно расширяют его диапазон измерений. Эти модули включают: устройство сверхбольших значений силы тока (UNCU) с максимальной выходной силой тока 1500 А, устройство больших значений напряжения и средних значений силы тока (HVMCU) с максимальными выходными диапазонами силы тока/напряжения 2,5 А/2200 В и устройство сверхбольших значений напряжения (UNVU) с максимальным выходным напряжением 10 кВ. Эти возможности обеспечивают точность, гибкость и простоту использования в ходе измерений характеристик силовых устройств, таких как мощные полевые транзисторы с МОП-структурой.

Благодаря расширенному диапазону измерений анализатор B1505A может тестировать большинство силовых устройств (см. рисунок 1). Здесь показаны выходные диапазоны силы тока в зависимости от напряжения используемых типовых модулей B1505A, предназначенных для приложений высокой мощности.

Оба модуля UNCU и HVMCU имеют возможность измерения импульсов высокой мощности длительностью 10 мкс, что даёт более точные результаты измерений за счёт исключения эффектов саморазогрева устройств.

Анализатор B1505A может также проводить точное измерение вольт-фарядных характеристик (ВФХ) при напряжении смещения до 3 кВ. Анализатор B1505A облегчает непосредственное измерение параметров ёмкости мощных полевых транзисторов с МОП-структурой.

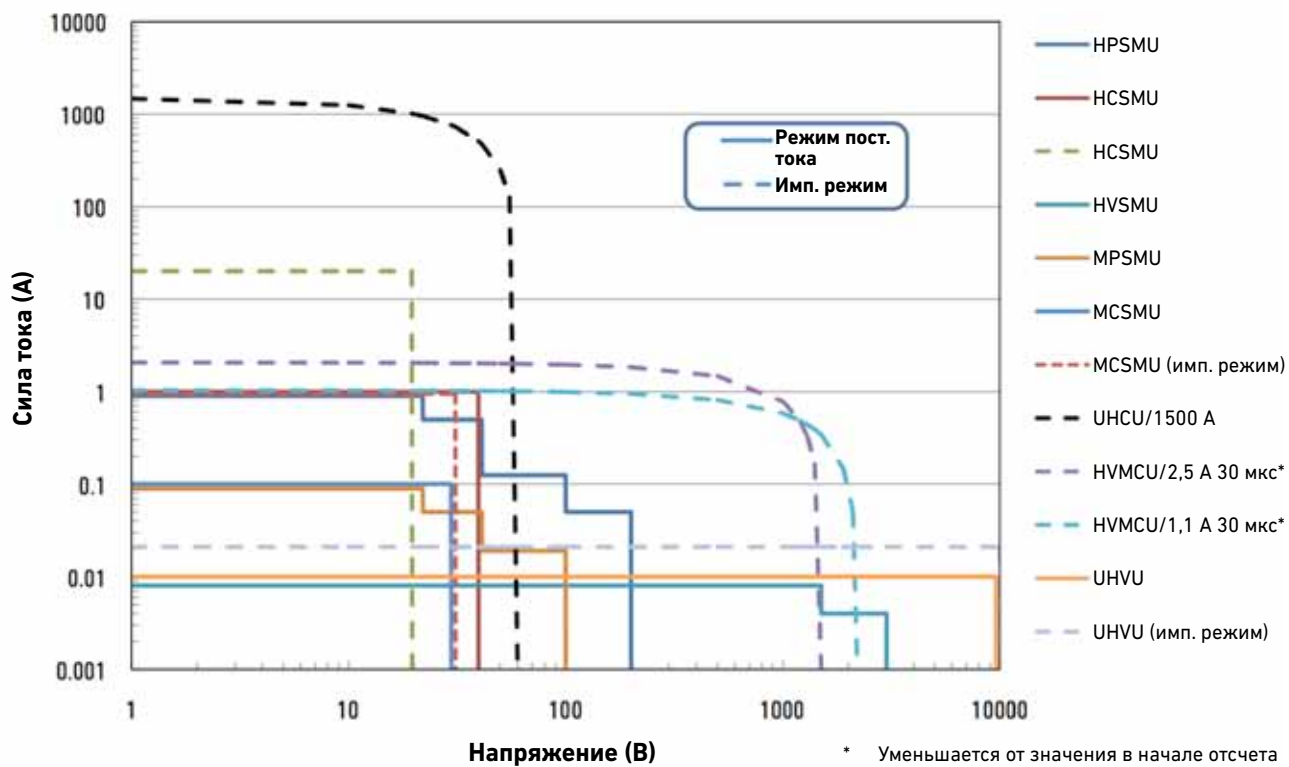
Поскольку B1505A является гибкой и наращиваемой платформой, пользователи могут начать работать с минимальной конфигурацией, которая соответствует их текущим требованиям к тестированию устройств высокой мощности. Если эти требования в будущем возрастают или изменяются, можно расширить имеющуюся конфигурацию путём добавления требуемого модуля (модулей).

EasyEXPERT — программное обеспечение (ПО) на базе графического интерфейса пользователя, установленное в B1505A, поддерживает интерактивное и реальное управление свипированием в режиме характериографа. ПО EasyEXPERT поддерживает автоматическую экстракцию параметров мощных полевых транзисторов с МОП-структурой, что исключает необходимость трудоёмких ручных вычислений.

Эти свойства позволяют рассматривать анализатор B1505A в качестве мощной замены традиционных характериографов и обеспечивают повышение эффективности тестирования и точности измерений.

В данных рекомендациях по применению мы рассмотрим примеры использования анализатора B1505A для измерения типовых параметров мощных полевых транзисторов с МОП-структурой на постоянном токе.

Выходные диапазоны силы тока в зависимости от напряжения, реализуемые модулями для измерений на постоянном токе



* Уменьшается от значения в начале отсчета времени по экспоненте с коэффициентом $(-PW/(0,22 \text{ мкФ} \times (R_o + R \text{ load})))$, где PW — длительность импульса, $R_o = 600 \text{ Ом}$ или 2 кОм .

Рисунок 1. Выходные диапазоны силы тока анализатора B1505A.

Типовые параметры мощных полевых транзисторов с МОП-структурой

Параметры постоянного тока и ёмкостные параметры, вносимые в перечень типовых характеристик или нормируемых технических характеристик мощных полевых транзисторов с МОП-структурой, приведены в таблице 1.

В крайнем правом столбце указаны пределы измерений, обеспечиваемые анализатором B1505A, для каждого параметра.

можно легко измерить с помощью одного прибора.

Ранее эти параметры могли быть измерены только путём использования дорогого производственного тестера мощных устройств, либо набора измерительных приборов, который включал характериограф, измеритель вольт-фарадных характеристик (ВФХ) и источник смещения постоянного тока. Однако, с выходом на рынок B1505A все эти параметры

Таблица 1. Типовые параметры постоянного тока и ёмкостные параметры мощных полевых транзисторов с МОП-структурой и совместимость с анализатором B1505A.

Типовой параметр мощного полевого транзистора с МОП-структурой	Обозначение	Единица измерения	Измерение ¹	Типовой измерительный модуль	Типовой измеряемый диапазон анализатора B1505A
Напряжение пробоя сток-исток	V(BR)DSS	В	Id-Vd	HVSMU	От -3 кВ до 3 кВ ² (мин. разрешение 200 мкВ)
Ток стока (режим постоянного тока)	ID	А	Id-Vd	HPSMU	От -1 А до 1 А (мин. разрешение 10 нА)
Ток стока (импульсный режим)	IDP, IDM	А	Id-Vd	UHCU	От -1500 А до 1500 А ³ (мин. разрешение 2 мА)
Ток утечки сток-исток	IDSS	А	Id-Vd	HVSMU	От -8 мА до 8 мА ⁴ (мин. разрешение 10 фА)
Напряжение затвор-исток	VGSS	В	Ig-Vg	MCSMU	От -30 В до 30 В ⁵ (мин. разрешение 0,2 мкВ)
Ток утечки затвор-исток	IGSS	А	Ig-Vg	MCSMU	От -100 мА до 100 мА ⁶ (мин. разрешение 10 нА)
Пороговое напряжение затвора или напряжение отсечки	VGS(th) VGS(off)	В	Id-Vg (Vd=Vg) Id-Vg (при Vds)	SMUs	От -30 В до 30 В ⁷ (мин. разрешение 0,2 мкВ)
Полная проводимость прямой передачи или полная междуэлектродная проводимость прямой передачи	yfs Gfs	См	Vd-Id при Vds	UHCU	От 1 мСм до ~ 1000 См ⁸
Сопротивление сток-исток открытого канала в статическом режиме	RDS(on)	Ом	Vd-Vg при Id	UHCU	Лучше, чем 100 мкОм ⁹
Прямое напряжение диода	VSD	В	Is-Vs	UHCU	От -10 В до 10 В ¹⁰ (мин. разрешение 100 мкВ)
Ток стока в инверсном режиме	ISD	А	Is-Vs	UHCU	~ 1500 А ³
Входная ёмкость	Ciss	пФ	C-V	MFCMU	Лучше, чем 1% при C < 10 нФ ¹¹
Выходная ёмкость	Coss	пФ	C-V	MFCMU	Лучше, чем 1% при C < 10 нФ ¹¹
Проходная ёмкость	Crss	пФ	C-V	MFCMU	Лучше, чем 1% при C < 10 нФ ¹¹

1. Измерение, используемое для извлечения параметра.
2. 4 мА/3 кВ. Свыше 100 мА/2 кВ — с помощью HVMCU. Возможность расширения до 10 кВ с помощью UHVU.
3. 1500 А-UHCU; 20 А-HCSMU; 2 А-HVMCU.
4. Максимум 4 мА при 3 кВ. Свыше 100 мА/2 кВ — с помощью HVMCU.
5. 30 В-MCSMU; 200 В-HPSMU; 100 В-MPSMU.
6. 30 В-MCSMU.
7. Id: 50 мА-MPSMU (Vd < 40 В), 1000 А-UHCU (Vd < 20 В).
8. Приближённый подсчёт (примерные значения: от 1 мА/1 В до ~ 1 А/1 мВ).
9. Приближённый подсчёт (примерное значение: 1 мВ/10 А).
10. Типовые значения: 10 В при Id < 1250 А, 3 В при Id < 1400 А, 1 В при Id < 1500 А.
11. Максимальное смещение постоянного тока 3 кВ с высоковольтным треугольником смещения.

Измерение типовых параметров мощных полевых транзисторов с МОП-структурой

Анализатор B1505A может легко измерять типовые параметры мощных полевых транзисторов с МОП-структурой. В следующем разделе мы покажем, как измерить некоторые из параметров, перечисленных в таблице 1.

Доступные режимы тестирования

Анализатор B1505A имеет четыре режима тестирования: режим характериографа (Tracer Test), режим прикладного тестирования (Application Test), режим классического тестирования (Classic Test) и режим быстрого тестирования (Quick Test). Каждый режим тестирования имеет свои уникальные возможности, которые мы осветим ниже.

Режим характериографа (Tracer Test) обеспечивает интерактивный интерфейс характериографа, который позволяет изменять параметры в реальном времени в процессе измерения, используя ручку передней панели анализатора B1505A.

Режим характериографа (Tracer Test) поддерживает уникальные свойства, которых нет в традиционных характериографах, такие как возможности помещения маркеров и линий точно на характеристику и захвата экранных изображений в форматах, совместимых с ПК.

Режим прикладного тестирования (Application Test) включает библиотеку стандартных тестов, которая исключает необходимость ручной установки большинства параметров прибора для наиболее распространенных тестов (например, измерение зависимости тока стока от напряжения сток-исток, Id-Vds). В этом режиме можно проводить измерения, используя интуитивно-понятный интерфейс. Измерения и экстракция параметров проводится за один щелчок мыши.

Режим классического тестирования (Classic Test) обеспечивает полный доступ ко всем возможностям измерения и анализа ПО EasyEXPERT. Установки параметров измерения, созданные в режиме характериографа (Tracer Test), можно импортировать в

режим классического тестирования, и к ним добавить вычисления автоматического анализа. Полученные таким образом установки параметров режима классического тестирования можно затем использовать как в интерактивном режиме, так и для автоматического тестирования.

Режим быстрого тестирования (Quick Test) предлагает удобные средства для автоматизации установки параметров тестирования, созданных в режимах характериографа, прикладного тестирования или классического тестирования без программирования. Пользователь может автоматизировать создание тестовых последовательностей при тестировании как в устройстве подключения (держателе), так и на пластине по всей её поверхности, используя драйверы установок зондового контроля, поставляемые вместе с ПО EasyEXPERT.

Примеры измерений

Следующие примеры иллюстрируют экстракцию параметров мощных полевых транзисторов с МОП-структурой с использованием различных режимов тестирования.

1. Выходные характеристики: Id-Vds

На рисунке 2 показан результат измерения выходных характеристик мощных полевых транзисторов с МОП-структурой (зависимости тока стока от напряжения сток-исток, Id-Vds) в режиме характериографа (Tracer Test).

Этот пример показывает, как возможность управления свипированием с помощью ручки передней панели в режиме характериографа позволяет интерактивно контролировать максимальное значение напряжения стока при свипировании (изменении в заданных пределах) в реальном времени в процессе проведения измерения. Управление свипированием с помощью ручки особенно полезно для определения правильных значений напряжения и силы тока для стока и затвора, поскольку эти параметры обычно отличаются даже для одного и того же типа устройств. Заметим, что измерение, показанное на рисунке 2, было проведено с предельным значением уровня мощности, установленным равным 3,5 кВт (показан красной линией). Это было сделано, чтобы избежать превышения максимально допустимой мощности (пределов области безопасной работы) в импульсном режиме работы устройства.

Две белые пунктирные линии отображают предельные значения выходного напряжения и силы тока (соответственно). Можно проводить измерения устройства при высоком значении силы тока и низком напряжении, но необходимо также учитывать максимально допустимое напряжение в области измерения низких значений силы тока.

Предельное значение силы тока гарантирует, что для данного устройства максимально допустимое значение силы тока не будет превышено.

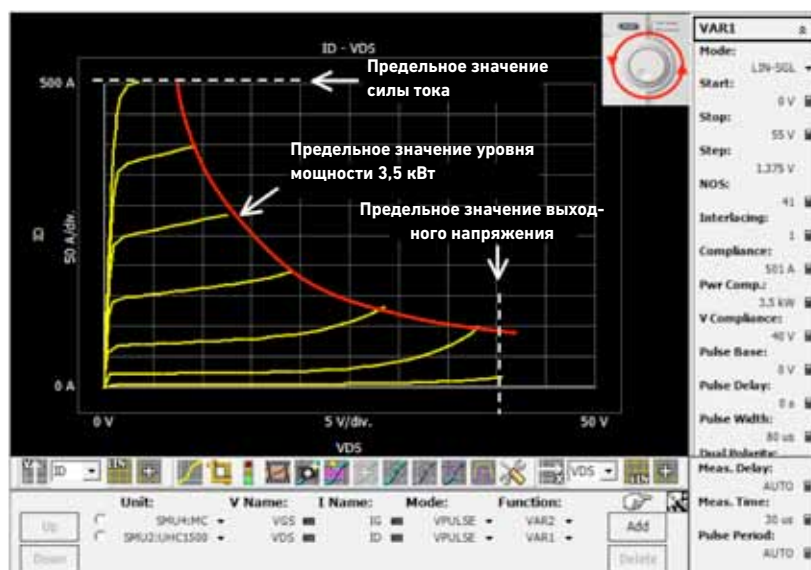


Рисунок 2. Пример измерения зависимости тока стока от напряжения сток-исток (Id-Vds) в режиме характериографа (UHCU).

2. ВАХ мощных полевых транзисторов с МОП-структурой: Id-Vds

На рисунке 3 показан пример измерения вольт-амперных характеристик (ВАХ) — зависимости тока стока от напряжения сток-исток (Id-Vds) типowego мощного полевого транзистора с МОП-структурой.

Точка, в которой был помещён маркер на этом графике, соответствует отсчёту 2,52 В при 1342 А.

Максимальное выходное напряжение устройства сверхбольших значений силы тока (УНСУ) было установлено равным 60 В. Правда, действительное напряжение, подаваемое на тестируемое устройство (ТУ), не совпадает с установленным значением. Пользователь должен учитывать падение напряжения на выходном сопротивлении УНСУ (типичное значение равно 40 мОм). Предельное значение напряжения было установлено равным 4,5 В для исключения ненужных измерений в области низких значений силы тока.

3. Характеристики в открытом состоянии: Rds-Vgs

Характеристики зависимости сопротивления сток-исток открытого канала от напряжения затвор-сток (Rds-Vgs) важны для решения задач коммутации. На рисунке 4 показаны характеристики Rds-Vgs открытого канала для четырёх постоянных значений тока стока от 50 до 200 А с шагом 50 А.

Отсчёт маркера в указанной точке графика показывает значение сопротивления сток-исток Rds, равное 1,6 мОм, для всех значений силы тока стока Id при напряжении затвор-исток Vgs 10 В.

Это измерение было проведено с помощью устройства сверхбольших значений тока (УНСУ), которое использовалось в качестве источника постоянного неизменяющегося тока, присоединённого к стоку. Сделать это с помощью традиционного характеристикографа было бы невозможно, поскольку он имеет только режим источника напряжения.

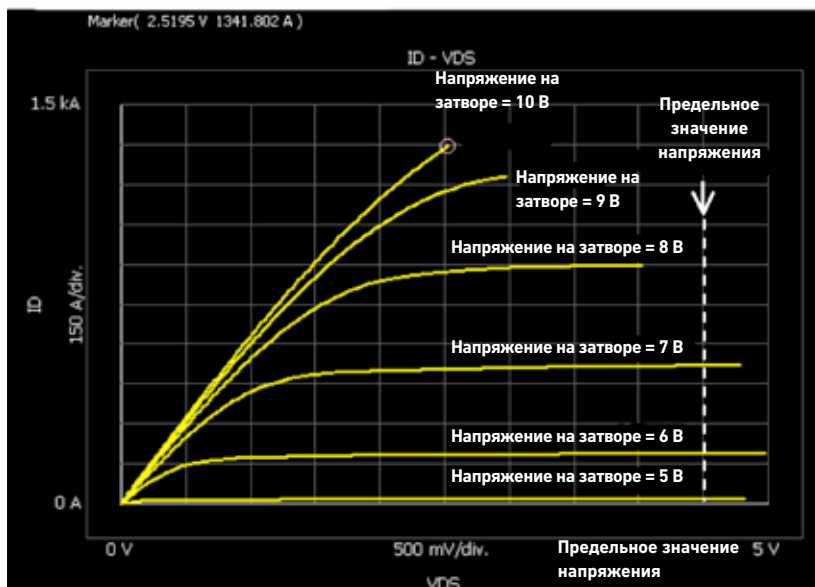


Рисунок 3. ВАХ мощных полевых транзисторов с МОП-структурой (УНСУ).

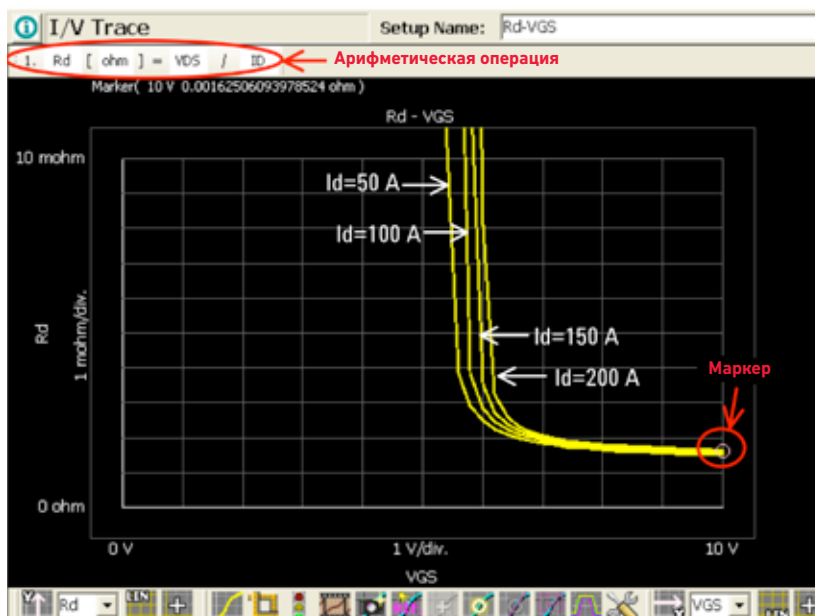


Рисунок 4. Характеристики зависимости сопротивления сток-исток открытого канала от напряжения затвор-сток (Rd-Vgs) мощных полевых транзисторов с МОП-структурой (УНСУ)

Ранее это измерение можно было провести только с использованием очень дорогих производственных тестеров мощных устройств. Однако, устройство сверхбольших значений тока (УНСУ) анализатора B1505A позволяет легко провести это измерение.

Сопротивление сток-исток Rds вычисляется с использованием функций арифметических операций ПО EasyEXPERT (поддерживается в версии 5 и более поздних).

4. Характеристики высоковольтных полевых транзисторов с МОП-структурой вблизи пробоя

На рисунке 5 показан пример характеристик высоковольтных полевых транзисторов с МОП-структурой вблизи пробоя, измеренных с помощью устройства больших значений напряжения и средних значений силы тока (HVMCU).

Жёлтый график отображает результат измерения с предельным значением напряжения, которое установлено равным 1,6 кВ, чтобы не превысить напряжение пробоя тестируемого устройства. Синим цветом изображён исходный график, на котором показан реальный пробой этого устройства. Устанавливая предельное значение напряжения таким образом, можно измерять характеристики вблизи пробоя для предотвращения реального пробоя. На выходе HVMCU имеется встроенный выходной резистор (2 кОм для диапазона 2200 В). За счёт этого можно безопасно проводить измерения даже в тех случаях, когда неожиданно происходит пробой тестируемого устройства.

Возможность измерения средних значений силы тока в области больших значений напряжения HVMCU также полезна для измерения токов утечки при высокой температуре.

5. Переходные характеристики: Id-Vgs

Измерение характеристик зависимости тока стока от напряжения затвор-исток (Id-Vgs) обычно проводится при фиксированном значении напряжения стока.

Поскольку характеристики имеют внутреннее выходное сопротивление, невозможно с их помощью подать на сток постоянное напряжение, если ток стока изменяется, из-за падения напряжения на выходном сопротивлении, которое равно произведению силы тока на сопротивление.

Стандартная библиотека ПО EasyEXPERT анализатора B1505A содержит в своём составе прикладной тест Id-Vgs, при проведении которого автоматически компенсируется падение напряжения, вызванное выходным сопротивлением (см. рисунок 6).

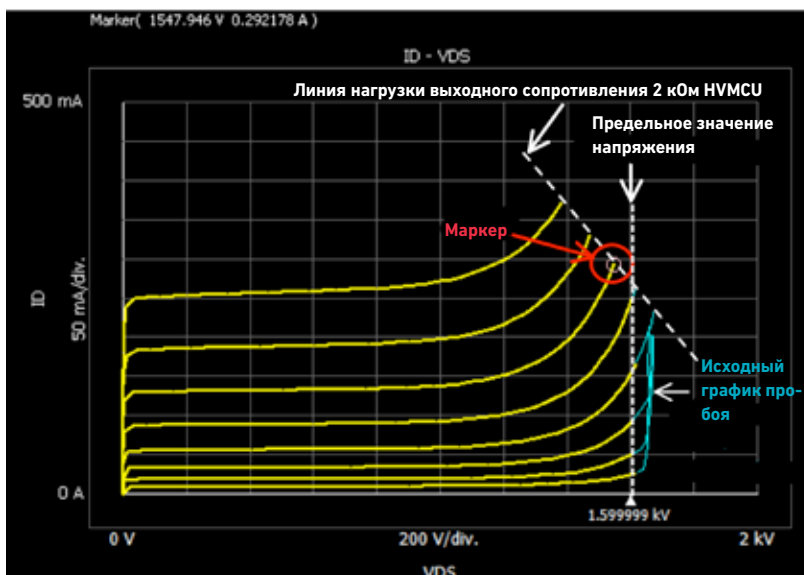


Рисунок 5. Характеристики высоковольтных полевых транзисторов с МОП-структурой вблизи пробоя (HVMCU).

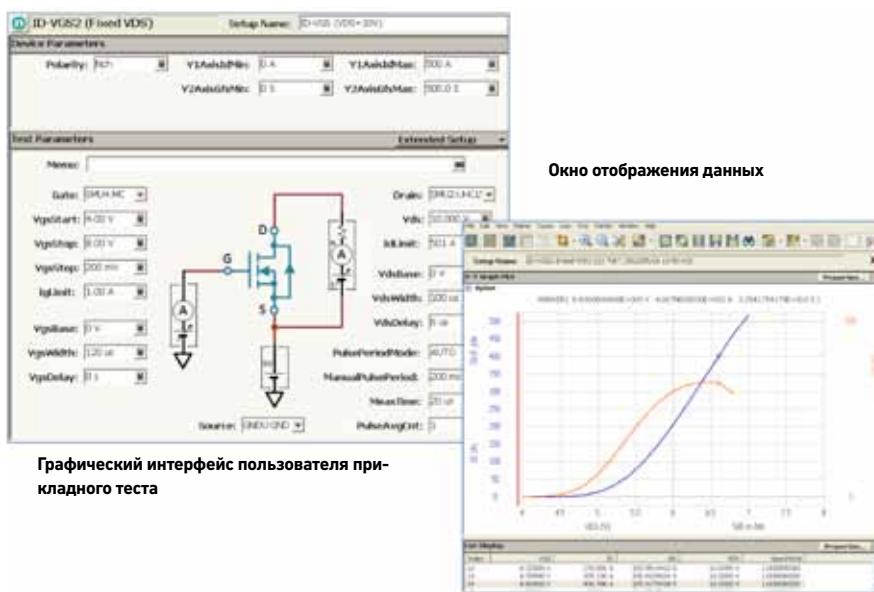


Рисунок 6. Переходные характеристики зависимости тока стока от напряжения затвор-исток мощных полевых транзисторов с МОП-структурой (Ic-Vge), измеренные с использованием прикладного теста.

Примечание: в левом окне на рисунке 6 показано отображение графического интерфейса пользователя для установки параметров тестирования, а в правом окне — отображение результатов измерения.

6. Тестирование напряжения пробоя

На рисунке 7 показан пример тестирования напряжения пробоя с использованием модуля источника/измерителя больших значений напряжения (HVSMU). Измерение проводится с использованием резистора 100 кОм, встроенного в устройство подключения (держатель). Падение напряжения, вызванное этим резистором, было устранено с помощью простой функции арифметической операции.

Жёлтый график отображает истинную характеристику напряжения пробоя после устранения падения напряжения на последовательном резисторе 100 кОм из синего исходного графика.

Примечание: одним из преимуществ использования встроенного последовательного резистора 100 кОм является то, что в этом случае можно даже измерять характеристики напряжения пробоя, имеющие область отрицательного сопротивления или отскок.

Модуль HVSMU обеспечивает напряжение до 3 кВ. В случае необходимости можно увеличить напряжение тестирования до 10 кВ, используя устройство сверхбольших значений напряжения (UHVU).

Другие свойства

Представление в формате осциллографа

ПО EasyEXPERT (версия 5 или более поздняя) поддерживает представление в формате осциллографа (Oscilloscope View) (см. рисунок 8) на экране анализатора B1505A, которое позволяет контролировать формы сигналов при измерении импульсов с разрешением 2 мкс.

Этот формат представления имеет следующие свойства:

- ВАХ и формы импульсов отображаются одновременно.
- Форму измеренных импульсов можно контролировать в любой точке.
- Как значение напряжения, так и силы тока можно считывать, используя линию маркера.

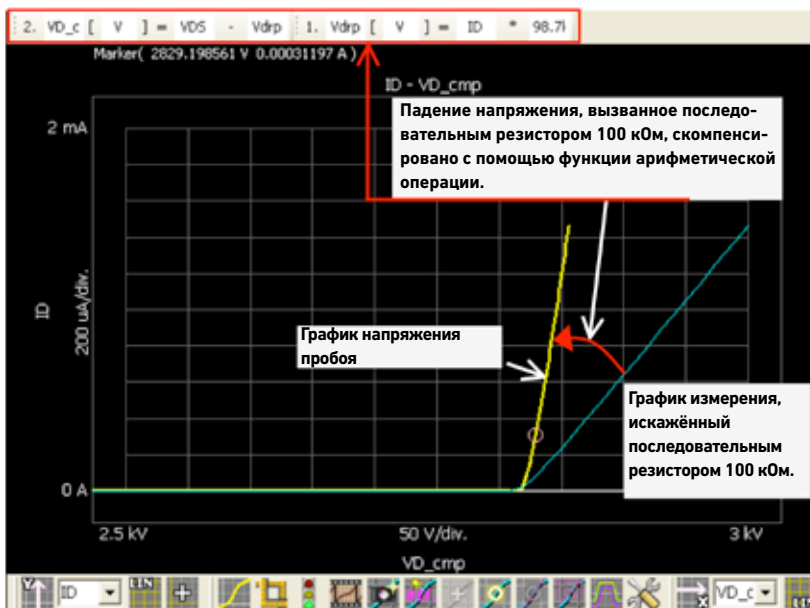


Рисунок 7. Тестирование напряжения пробоя (HVSMU).

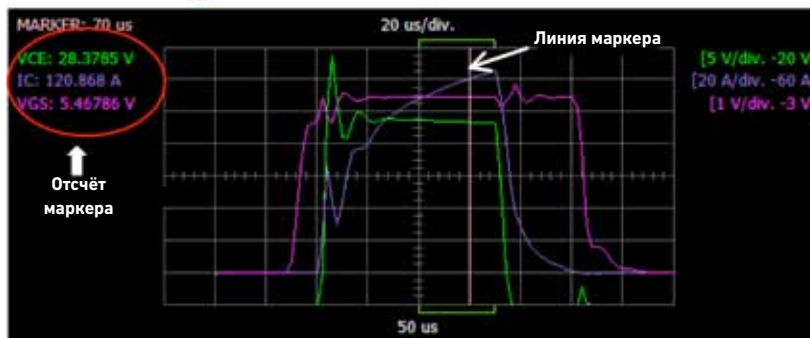
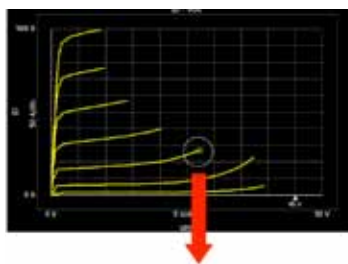


Рисунок 8. Представление в формате осциллографа.

- Условия измерения импульсов можно изменять в процессе измерения, и оперативно проверять получающиеся в результате формы сигналов.

Большие сигналы тока, подаваемые на сток, могут искажаться паразитными элементами (такими, как индуктивность кабеля установки для тестирования), и эти паразитные элементы могут приводить к непредсказуемым результатам измерения.

Представление в формате осциллографа помогает предотвратить это, обеспечивая точное отображение формы сигнала, а также относительно временное расположение сигналов стока и затвора. Это позволяет настроить параметры синхронизации таким образом, чтобы достичь оптимальных условий измерения.

Представление в формате осциллографа сокращает время отладки, повышая при этом также качество данных измерения.

Селектор выбора модуля для подачи напряжения/силы тока на сток мощного полевого транзистора с МОП-структурой

Измерение параметров мощных полевых транзисторов с МОП-структурой требует подачи на сток напряжения и силы тока в широких диапазонах значений. Это означает, что модули, показанные на рисунке 9, должны включаться и выключаться.

На рисунке 9 показана упрощенная структурная схема селектора модуля расширителя для сверхбольших значений тока/устройства подключения N1265A. Он исключает трудоёмкую задачу переподключения кабелей для различных типов измерений, устраняя любую возможность ошибки оператора.

ПО EasyEXPERT автоматически выбирает соответствующий модуль в зависимости от заданного теста.

Измерения на пластине

Измерения на пластине можно проводить для значений силы тока более чем 200 А и напряжения до 10 кВ. Максимальное значение силы тока в действительности ограничивается иглами пробников установок зондового контроля, а не анализатором В1505А.

Кабель установки зондового контроля для сверхбольших значений силы тока N1254A-524, поставляемый по дополнительному заказу, способен поддерживать измерения до 500 А и 3 кВ. Рисунок 10 иллюстрирует подключение к установке зондового контроля с использованием этого кабельного удлинения. Это кабельное удлинение можно также использовать для измерений сверхбольших значений силы тока внутри термостатической камеры.

Примечание: для проведения измерений в диапазоне от 3 до 10 кВ сигнал должен быть подан в обход селектора модуля, а устройство сверхбольших значений силы тока (UHVU) необходимо подключать непосредственно к тестируемому устройству (ТУ).

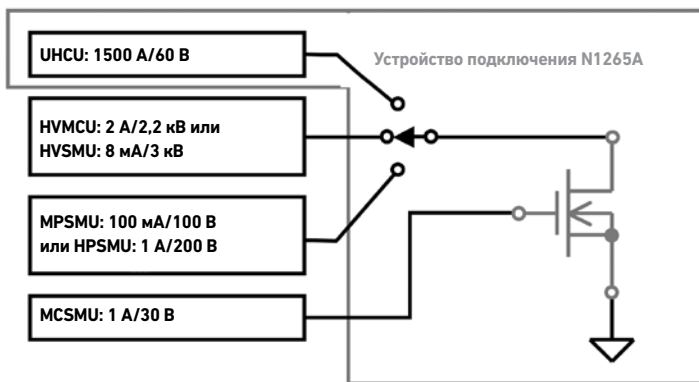


Рисунок 9. На тестируемое устройство (ТУ) можно подать до 1500 А и 3 кВ без какого-либо изменения кабельных соединений.

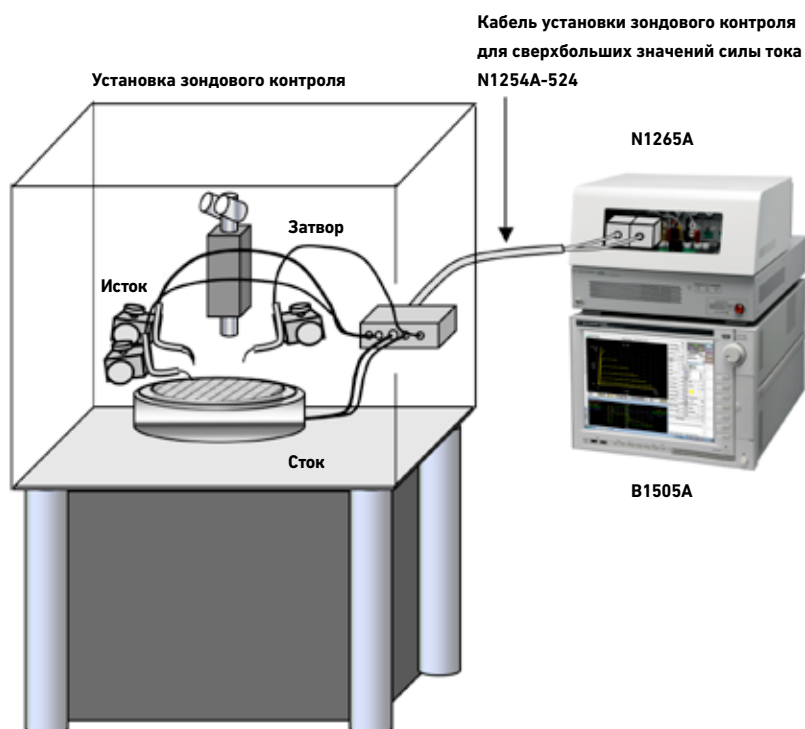


Рисунок 10. Подключение к установке зондового контроля с использованием кабеля установки зондового контроля для сверхбольших значений силы тока N1254A-524.

Заключение

В данных рекомендациях по применению мы рассказали, как использовать анализатор B1505A для измерения типовых параметров на постоянном токе, которые заданы в технических данных коммерческих мощных полевых транзисторов с МОП-структурой.

Анализатор B1505A имеет четыре режима тестирования: режим трассировки (Tracer Test), режим прикладного тестирования (Application Test), режим классического тестирования (Classic Test) и режим быстрого тестирования (Quick Test). Эти режимы предлагают различные варианты решений для тестирования характеристик устройств.

Диапазон измерения анализатора B1505A — до 10 кВ и 1500 А.

Встроенный селектор N1265A упрощает переключение измерительных модулей для подачи на сток мощного полевого транзистора с МОП-структурой требуемой величины напряжения и силы тока. Измерения на пластине могут проводиться для значений напряжения максимум 10 кВ и силы тока более чем 200 А.

Представление в формате осциллографа является неоценимым средством для создания установок и настройки параметров для надёжных и точных измерений характеристик устройств.

Эти возможности в сочетании с многочисленными функциями анализа данных B1505A образуют средство измерения характеристик мощных полевых транзисторов с МОП-структурой, которое соответствует современному техническому уровню и значительно превосходит возможности традиционных характериографов.

myKeysight

myKeysight

www.keysight.com/find/mykeysight
Персонализированное представление наиболее важной для Вас информации.

Российское отделение



www.lxistandard.org
LXI представляет собой сетевой интерфейс, пришедший на смену интерфейсу GPIB и обеспечивающий более быстрый и эффективный обмен данными. Компания Keysight входит в число основателей консорциума LXI.

Keysight Technologies

115054, Москва,
Космодамианская наб., 52, стр. 3



<http://www.pxisa.org>
PXI (PCI eXtensions for Instrumentation) – это формат модульного высокопроизводительного вычислительного и контрольно-измерительного оборудования, предназначенного для работы в жестких производственных условиях.

Тел.: +7 (495) 7973954
8 800 500 9286 (Звонок по России бесплатный)



Трехлетняя гарантия
www.keysight.com/find/ThreeYearWarranty
Сочетание надежности приборов Keysight с трехлетней гарантией поможет вам в достижении ваших целей: повысит уверенность в безотказной работе, сократит эксплуатационные расходы и предоставит дополнительные удобства.

Факс: +7 (495) 7973902
e-mail: tmo_russia@keysight.com

www.keysight.ru



Планы Технической Поддержки Keysight
www.keysight.com/find/AssurancePlans
До пяти лет поддержки без непредвиденных расходов гарантируют, что ваше оборудование будет работать в соответствии с заявленной производителем спецификацией, а вы будете уверены в точности своих измерений.

Сервисный Центр
Keysight Technologies в России
115054, Москва,
Космодамианская наб, 52, стр. 3



www.keysight.com/quality
Система управления качеством Keysight Electronic Measurement Group сертифицирована DEKRA по ISO 9001:2008

Тел.: +7 (495) 7973930
Факс: +7 (495) 7973901

e-mail: tmo_russia@keysight.com

Торговые партнеры компании Keysight
www.keysight.com/find/channelpartners
Получите двойную выгоду: богатый опыт и широкий выбор продуктов Keysight в сочетании с удобствами, предлагаемыми торговыми партнерами.

(BP-09-04-14)